

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-069665

(43)Date of publication of application : 14.03.1995

(51)Int.Cl.

C03B 37/012  
C03B 37/023  
// G02B 6/00  
G02B 6/10  
G02B 6/17

(21)Application number : 06-140337

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 22.06.1994

(72)Inventor : HOSHINO SUMIO  
KANAMORI HIROO  
ONISHI MASASHI  
YOKOTA HIROSHI

(30)Priority

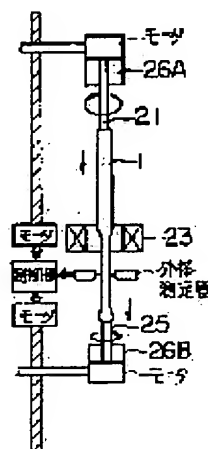
Priority number : 05150737 Priority date : 22.06.1993 Priority country : JP

## (54) OPTICAL FIBER PREFORM, OPTICAL FIBER AND PRODUCTION THEREOF

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide the optical fiber which equivalently suppresses the polarization dispersion occurring in the optical fiber and core which are not completely round and concentric even in the case the optical fiber and core are not completely round and concentric by previously twisting the optical fiber preform uniformly in a specified direction.

CONSTITUTION: This optical fiber preform is composed of a transparent material in the central part and the clad consisting of a transparent material in the peripheral part and is uniformly twisted in one way around the central axis passing the core or near the same. In addition, the optical fiber preform has the length above the pitch of the twists. This preform is produced by the following method: The preform 1 is heated 23 and softened while the one end 26A and the other end 26B are relatively rotated  $\geq 1$  turns around the central axis running the core inside or near the part by applying rotating stresses of respectively reverse directions on the one end 26A and the other end 26B of the preform 1 composed of the core part and clad part consisting of the transparent material.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

17.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-69665

(43) 公開日 平成7年(1995)3月14日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 0 3 B 37/012	Z			
37/023				
// G 0 2 B 6/00	3 5 6 A	7036-2K		
6/10	C	7036-2K		
		7036-2K		
		G 0 2 B 6/ 16	3 0 1	
		審査請求 未請求 請求項の数16	〇 L (全 11 頁)	最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-140337

(22) 出願日 平成6年(1994)6月22日

(31) 優先権主張番号 特願平5-150737

(32) 優先日 平5(1993)6月22日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 星野 寿美夫

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 金森 弘雄

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 大西 正志

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

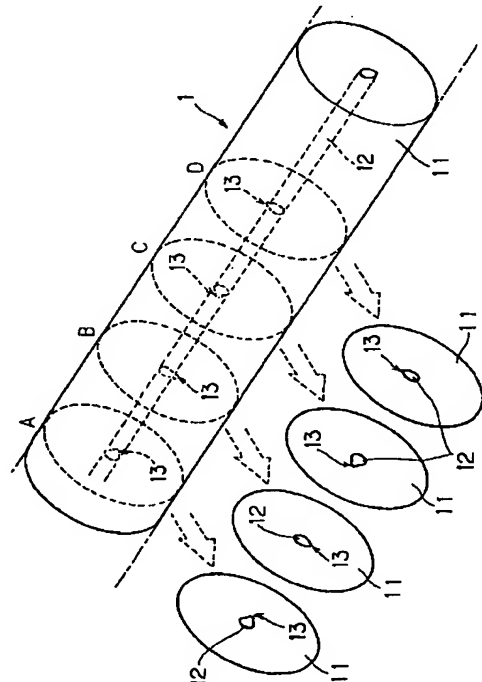
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ母材、光ファイバおよびこれらの製造方法

(57) 【要約】

【目的】 光ファイバおよびコアが完全には真円、同心円状でない場合にも、これに起因する偏波分散を等価的に抑止することのできる光ファイバを提供し、このような光ファイバを製造するのに適した光ファイバ母材と、これらの好適な製造方法を提供する。

【構成】 本発明の光ファイバ母材1が、中心部の透明材からなるコアと、周辺部の透明材からなるクラッドにより構成されており、コア中もしくはその近傍を通る中心軸の回りで一方向かつ一様にねじられ、かつ当該ねじりのピッチ以上の長さを有しているので、これから線引きされた光ファイバは一方向かつ一様なねじれが残留している。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 中心部の透明材からなるコアと、周辺部の透明材からなるクラッドとにより構成され、前記コア中もしくはその近傍を通る中心軸の周りで一方向かつ一様にねじられ、かつ当該ねじりのピッチ以上の長さを有していることを特徴とする光ファイバ母材。

【請求項 2】 請求項 1 記載の光ファイバ母材を端部から加熱・軟化させて線引きすることにより繊維状とされ、前記一方向かつ一様なねじりが残留し、かつ当該ねじりのピッチ以上の長さを有していることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 3】 中心部のコアとなるべき部分を有する第 1 の透明材と、周辺部のクラッドとなるべき第 2 の透明材とを有する母材を用意する第 1 のステップと、前記母材に対してその一方の端部と他方の端部とに夫々逆向きの回転応力を加えて、前記第 1 の透明材中もしくはその近傍を通る中心軸の回りで前記一方の端部と前記他方の端部とを相対的に 1 回以上回転させつつ、当該母材を加熱して軟化させる第 2 のステップとを備えることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 4】 中心部のコアとなるべきガラス層と、周辺部のクラッドとなるべき透明材からなる部分とを有する母材を用意する第 1 のステップと、前記母材に対してその一方の端部と他方の端部とに夫々逆向きの回転応力を加えて、中心軸の回りで前記一方の端部と前記他方の端部とを相対的に 1 回以上回転させつつ、当該母材を加熱して軟化させると共に前記母材を中実化する第 2 のステップとを備えることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 5】 前記第 2 のステップは、前記逆向きの回転応力と、前記中心軸方向の引張り応力を加えつつ、当該母材を加熱して軟化させるステップである請求項 3 または請求項 4 記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 6】 中心部のコアとなるべき部分を有する透明材と、周辺部のクラッドとなるべき多孔質材とを有する母材を用意する第 1 のステップと、前記透明材に対してその一方の端部と他方の端部とに夫々逆向きの回転応力を加えて、前記透明材中もしくはその近傍を通る中心軸の回りで前記一方の端部と前記他方の端部とを相対的に 1 回以上回転させつつ、当該母材を加熱して前記多孔質材を透明化させると共に前記透明材を軟化させる第 2 のステップとを備えることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 7】 前記第 2 のステップは、前記逆向きの回転応力と前記中心軸方向の引張り応力を加えつつ、前記母材を加熱して前記多孔質材を透明化させると共に前記透明材を軟化させるステップである請求項 6 記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 8】 中心部のコアとなるべき部分を有する多孔質材と、周辺部のクラッドとなるべき透明材を有する

2

母材を用意する第 1 のステップと、

前記透明材に対してその一方の端部と他方の端部とに夫々逆向きの回転応力を加えて、前記透明材中もしくはその近傍を通る中心軸の回りで前記一方の端部と前記他方の端部とを相対的に 1 回以上回転させつつ、前記母材を加熱して前記透明材を軟化させると共に前記多孔質材の層を透明化させる第 2 のステップとを備えることを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 9】 前記第 2 のステップは、前記逆向きの回転応力と、前記中心軸方向の引張り応力を加えつつ、前記母材を加熱して前記多孔質材を加熱して透明化させると共に前記透明材を軟化させるステップである請求項 8 記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 10】 請求項 3 ないし 9 のいずれか記載の方法により製造された光ファイバ母材の一端部を保持して他端部が下方に位置するように垂れ下がらせ、次いで前記光ファイバ母材の中心軸を中心軸として前記光ファイバ母材を回転させながら、前記光ファイバ母材を前記他端部から順次に加熱して軟化させることにより、順次に光ファイバを線引きすることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 11】 線引きされて製造された前記光ファイバでのコアのねじれのピッチが、1 cm 以上 100 m 以下であることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 12】 前記第 1 のステップは、透明材からなるコア母材を用意し、前記コア母材の外周を研削して略真円とした後、中心部に研削した前記コア母材を、周辺部に透明材からなるクラッド母材を配置するステップであることを特徴とする請求項 3 記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 13】 前記第 1 のステップは、透明材からなるコア母材の周辺部に透明材からなるクラッド母材を配置した後、前記クラッド母材の外周を研削して略真円とするステップであることを特徴とする請求項 3 記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 14】 前記第 1 のステップは、透明材からなるコア母材を用意し、前記コア母材の外周を研削して略真円とした後、研削した前記コア母材の周辺部にクラッドとなるべき多孔質材の層を形成するステップであることを特徴とする請求項 6 記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項 15】 請求項 12 ないし 14 のいずれか記載の方法により製造された光ファイバ母材の一端部を保持して他端部が下方に位置するように垂れ下がらせ、次いで前記光ファイバ母材の中心軸を中心軸として前記光ファイバ母材を回転させながら、前記光ファイバ母材を前記他端部から順次に加熱して軟化させることにより、順次に光ファイバを線引きすることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 16】 線引きされて製造された前記光ファイ

バでのコアのねじれのピッチが、1 m以上5 0 m以下であることを特徴とする請求項1 0または請求項1 5記載の光ファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【産業上の利用分野】本発明は、光ファイバ母材、光ファイバ及びこれらの製造方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】従来、石英系の光ファイバの製造方法としては、VAD法、外付け法、内付け法（MCVD、プラズマCVD法）、ロッドインチューブ法、二重つば法等が知られている。これらの代表的プロセス以下に述べる。VAD法は、酸水素バーナに原料を供給し、火炎の中で加水分解反応によりガラス微粒子を合成し、これを回転する出発棒の先端に付着させ、軸方向に成長させ、多孔質母材を作成し、これを脱水・透明化、縮径、延伸して円柱状の光ファイバ用の母材とする。次いで、この光ファイバ用の母材を線引きし、所望の屈折率分布を有する光ファイバを製造する方法である。内付け法は石英管の内部に原料と酸素を送り、外部からバーナを往復させることによりガラス薄膜を内部に積層させ、中実化して光ファイバ用の母材とする。得られた母材を線引きし、光ファイバを製造する方法である（情報伝達用繊維、繊維と工業 Vol. 4 No. 5 1985, p. 151-160）。また、ロッドインチューブ法は、コアとなるガラス棒（ロッド）をクラッドとなる肉厚のガラス管（チューブ）に挿入し、その下端を封じ加熱軟化させて引張り、線引きも同時に行うことにより光ファイバを製造する方法である。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】従来の光ファイバ用の母材の製造工程は、線引き後に得られる光ファイバのいかなる部分の断面構造においても屈折率分布が同心円状になる様に考えられている。しかしながら、実際は、光ファイバにおけるコアあるいはクラッドの断面構造はわずかに楕円あるいは歪んだ円の形状になっているため、屈折率分布が完全な同心円状ではなくなっている。これが原因で光ファイバ断面内の直交する二偏波間の群速度に違いが生じてしまい、偏波分散が大きくなってしまう問題があった。このため、大容量かつ長距離の伝送が必要とされる海底ケーブル用および幹線ケーブル用の光ファイバとして実用化すると、偏波分散の影響が大きく現れてしまう。もっとも、光ファイバの製造プロセスのコントロールを厳密に行えば、コアを真円状とすることも、またクラッドとコアを同心円状とすることも原理的には可能である。しかし、このようなプロセス制御を厳密に行おうとすればする程、困難性が增大してコストの上昇などを招く。また、完全に真円および同心円となった光ファイバを実現することは、原理的には可能であるとしても、実用上は理想的な製造プロセスのコントロー

ルができない以上、不可能なことであり、結局は構造上の歪みによる偏波分散は避けることができない。

【0 0 0 4】そこで本発明は、光ファイバおよびコアが完全には真円、同心円状でない場合にも、これに起因する偏波分散を等価的に抑止することのできる光ファイバを提供することを目的とする。

【0 0 0 5】また、本発明は、このような光ファイバを製造するのに適した光ファイバ母材と、これらの好適な製造方法を提供することを目的とする。

10 【0 0 0 6】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバ母材は、中心部の透明材からなるコアと、周辺部の透明材からなるクラッドにより構成され、コア中もしくはその近傍を通る中心軸の回りで一方向かつ一様にねじられ、かつ当該ねじりのピッチ以上の長さを有していることを特徴とする。

【0 0 0 7】また、本発明に係る光ファイバは、上記のような光ファイバ母材を端部から加熱・軟化させて、線引きすることにより繊維状とされ、一方向かつ一様なねじりが残留し、かつ当該ねじりのピッチ以上の長さを有していることを特徴とする。

【0 0 0 8】本発明に係る光ファイバ母材の製造方法は、前述した従来から公知の製造方法に対応して、各種の態様がある。

【0 0 0 9】第1の態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、中心部の透明材からなるコアと、周辺部の透明材からなるクラッドとを有する母材を用意する第1のステップと、母材に対してその両端部から逆向きの回転応力を加えて、コア中もしくはその近傍を通る中心軸の回りで1回以上回転させつつ、母材を加熱して軟化させる第2のステップとを備えることを特徴とする。

【0 0 1 0】第2の態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、中心部の透明母材からなるコアと、周辺部のクラッドとなるべき多孔質材の層とを有する母材を用意する第1のステップと、コアに対してその両端から逆向きの回転応力を加えて、中心軸の回りで1回以上回転させつつ、母材を加熱して多孔質材の層を透明化させると共にコアを軟化させる第2のステップとを備えることを特徴とする。

40 【0 0 1 1】第3の態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、中心部のコアとなるべき多孔質材の層と、周辺部の透明材からなるクラッドとを有する母材を用意する第1のステップと、クラッドに対してその両端から逆向きの回転応力を加えて中心軸の回りで1回以上回転させつつ、母材を加熱してクラッドを軟化させると共に多孔質材の層を透明化させる第2のステップとを備えることを特徴とする。

50 【0 0 1 2】なお、上記第1～第3のいずれの態様においても、第2のステップは逆向きの回転応力と共に中心軸方向の引張り応力を加えつつ、母材を加熱してもよ

5

い。また、第2のステップは、母材を一方の端部側から他方の端部側へ順次に加熱するようにしてもよい。

【0013】上記第1および第2の態様では、第1のステップにおいて、コア用の母材の外周を略真円となるように研削後、研削したコア用母材を使用して光ファイバ母材を形成することを特徴としてもよい。

【0014】本発明に係る光ファイバの製造方法は、上述の第1ないし第3の態様にいずれかの方法により製造された光ファイバ母材の一端部を保持して他端部が下方に位置するよう垂下させ、次いで光ファイバ母材を他端部から加熱して軟化させることにより、順次に光ファイバを線引きすることを特徴とする。

【0015】また、本発明に係る光ファイバの製造方法では、光ファイバ母材を回転しつつ、上述の第1ないし第3の態様にいずれかの方法により製造された光ファイバ母材の一端部を保持して他端部が下方に位置するよう垂下させ、次いで光ファイバ母材を他端部から加熱して軟化させることにより、順次に光ファイバを線引きすることを特徴としてもよい。

【0016】

【作用】本発明に係る光ファイバは、中心軸のまわりで一方方向かつ一様にねじられている。このため、光ファイバおよびコアの断面構造が完全な真円かつ同心円状でなかったとしても、断面構造上の歪みは一定のピッチ（ねじりのピッチ）で360度の各方向に均一に現れ、したがって長尺の光ファイバ全体としては、等価的に真円かつ同心円構造の光伝送路として機能する。このため、上記ねじりのピッチ以上の長さを有する光ファイバを伝搬する光信号に生じる偏波分散は、光軸のまわり360度の方向に次々と現れながら次々とキャンセルされ（つまり、2つの偏波モードの結合が容易になり）、結果として全体の偏波分散を抑止できる。

【0017】本発明に係る光ファイバ母材は、あらかじめ一定の方向かつ一様にねじられているため、端部より線引きするだけで、上記の光ファイバを実現できるように作用する。

【0018】第1態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、すでに透明化されてコアとクラッドが一体された母材にねじりを加えるもので、このような透明化された母材は、VAD法による多孔質母材を加熱・透明化することにより、あるいは外付け法による母材の外側（クラッド側）の多孔質層を加熱・透明化することにより、あるいは内付け法による母材の内側（コア側）の多孔質層を加熱・透明化することにより、あるいはロッドインチューブ法による透明ロッド材（コア材）と透明チューブ材\*

$$\text{PMD}(\phi) / \text{PMD}(\phi=0) = (2\pi / 2\phi) (B/\lambda) \cdots (1)$$

ここで、 $\phi$ ：光ファイバ単位長さあたりのコアのねじれ回転数

B：光ファイバの複屈折率

$\lambda$ ：光の波長

(4)

6

\*（クラッド材）を加熱・一体化することにより得られる。そして、回転応力を加えつつ加熱・軟化させることにより、母材に対して光ファイバ化したときの偏波分散の抑止に必要なねじりが加えられる。また、内付け法で内側のコア層の部分を透明化した後に中実化の工程と一緒にねじりを加えれば工程の短縮を行うことができる。

【0019】第2態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、外付け法による母材のクラッドを透明化させる工程と、母材にねじりを加える工程を同時に行うものであり、第3態様のものは内付け法による母材のコアの透明化工程と母材をねじる工程を同時に行うものであり、これらによれば工程の短縮が図られる。

【0020】なお、上記第1ないし第3の態様のいずれにおいても回転応力と共に引張り応力を加えるようにすると、母材の縮径・延伸を同時に行うことができる。

【0021】また、第1および第2の態様の第1のステップにおいて、コア用の母材の外周を略真円となるように研削後、研削したコア用母材を使用して光ファイバ母材を形成することにより、偏波分散を改善にあたって必要なねじり量を低減することが可能となる。

【0022】本発明の光ファイバは、上記第1ないし第3態様の製造方法により得た光ファイバ母材を線引きすることで得られる。すなわち、ねじられた母材を端部より加熱・軟化して線引きすると、当該ねじりは光ファイバに残留することとなる。この線引きにあたって、光ファイバ母材を回転させると光ファイバ状態でのコアのねじれ量を大きくすることができる。

【0023】なお、上記のいずれの発明においても、ねじりの中心が特にコアの外側（クラッド部分）となるようにした母材を線引きするならば、らせん状のコアを有する光ファイバとなり得る。らせん状のコアを有する光ファイバは、らせんのピッチを調節することにより円偏波保存光ファイバとなり得る。

【0024】

【実施例】本発明の実施例の説明に先立って、本発明の原理に関して概要を説明する。

【0025】コアの断面形状が楕円であることを想定した場合、楕円の非円率（e）を、  

$$e = ((\text{最大外径}) - (\text{最小外径})) / (\text{平均外径})$$
 で定義した場合の楕円の非円率（e）と偏波分散（PMD）との関係は、「K.Kashihara et al., International Wire & Cable Symposium Proceeding 1993, pp635-638」に示されている。そして、コアをねじることによる偏波分散（PMD）の改善は、

であることが知られている（A.J.Barlow et al. : APPLIED OPTICS, Vol. 20, No. 17, 1 September 1981, pp2962-2968）。なお、通常の光ファイバにおいては、 $B = 10^{-5} \sim 10^{-7}$ 程度である。

【0026】光ファイバ母材のコアの内率は、通常の場合、光ファイバ化する際の線引き工程で増大する。発明者は、実験により内率の増大および光ファイバ化後の偏波分散値を測定し、(1)に従って偏波分散値＝ $0.1 \text{ ps/km}^{1/2}$  程度とするために必要な光ファイ \*

\*バ状態でのコアのねじりピッチ長を求めた。この結果を表 1 に示す。

【0027】

【表 1】

母材内率 (%)	ファイバ内率 (%)	偏波分散値 ( $\text{ps/km}^{1/2}$ )	必要ピッチ長* (m)
0.2~0.3	1.5~2	0.15~0.2	30~100
0.3~2	2~4	0.2~4	0.1~30
2~5	4~7	4~8	0.01~0.1

\*：偏波分散値を  $0.1 \text{ ps/km}^{1/2}$  程度とするために必要な光ファイバ状態でのねじりのピッチ長

【0028】光ファイバ母材での内率は 5% 以下なので、表 1 より光ファイバ状態でのコアのねじりピッチ長は、光ファイバ母材での内率に応じて 1 cm 以上 100 m 以下とすればよい。なお、こうした光ファイバ状態※20

※でのコアのねじりピッチ長 ( $L_0$ ) を実現するための光ファイバ母材でのコアのねじりピッチ長 ( $L_1$ ) は、通常の光ファイバの外径は 0.125 mm なので、

$$L_1 = (0.125/D)^2 \cdot L_0$$

… (2)

ここで、D：光ファイバ母材の外径 (単位：mm) で決定される。

★5%以下に制御することが可能である。この場合には、光ファイバ状態でのコアのねじりピッチ長は、光ファイバ母材での内率に応じて 1 m 以上 50 m 以下とすることが可能となる。

【0029】また、通常に製造された光ファイバ母材では内率は 2% 以下であり、光ファイバ母材でのねじりの容易性から鑑みて、光ファイバ状態でのコアのねじりピッチ長は、光ファイバ母材での内率に応じて 10 cm 以上 50 m 以下とすることが現実的である。

【0031】更に、発明者は、ねじった光ファイバ母材を使用し、この光ファイバ母材を回転しながら線引きすることによる偏波分散値の改善に関して実験を行った。この結果を表 2 に示す。

【0030】また、光ファイバ母材のコアの内率を低減するためにコア母材の外周を研削する方法を採れば、30 外周の研削により光ファイバ母材のコアの内率を 0. ★

【0032】

【表 2】

母材のねじりピッチ (ファイバ換算) (m)	線引き(100m/分)時の回転数 (rpm)	実質的なねじりピッチ (ファイバ換算) (cm)	偏波分散値 ( $\text{ps/km}^{1/2}$ )
0.5	0	50	0.5
1	100	50	0.4
10	190	50	0.35

【0033】表 2 に示すように、実質的なねじりピッチ (光ファイバ状態での換算) が同一であるにも拘らず、線引き時の回転数が大きいほうが偏波分散値が小さくなった。これは、通常の線引きによって光ファイバ母材の内率よりも増大した内率を光ファイバが有することになるが、その原因は線引き時の加熱炉内部の温度分布に光ファイバ母材の径方向についてのムラが生じているためと考えられる。この温度ムラのため、光ファイバ母材について径方向の温度ムラが生じ内率が増大すると

推測される。したがって、回転線引きは、回転によるねじりの効果による偏波分散値の改善効果に加えて、回転による光ファイバ母材について径方向の温度ムラの低減による内率の増大抑止という偏波分散値の改善効果を発揮すると推測される。

【0034】以下、添付図面を参照して、本発明の実施例に係る光ファイバ母材、光ファイバおよびこれらの製造方法を順次に説明する。

【0035】図 1 は実施例に係る光ファイバ母材の一部

の斜視構造と、4つの平面A～Dにおける断面構造を示す図である。光ファイバ母材1は石英系ガラスからなるクラッド母材11と、この中心部に設けられた高屈折率のコア用母材12から構成される。ここで、コア用母材12は光ファイバ母材1の中心に位置するが真円形状ではなく、凸部13を有していると仮定する。

【0036】本実施例の光ファイバ母材1は、一定方向に一樣にねじられているため、ねじりの中心軸がコア用母材12の中心であるとすると、図1の平面A～Dにおける断面は図中で矢印にて抜き書きしたようになる。すなわち、コア用母材12の凸部13は光ファイバ母材1の軸方向の位置がA、B、C、Dへと移るにつれて、中心軸のまわりで回転していく。つまり、光ファイバ母材1のねじりに応じて凸部13を有するコア用母材12もねじられる。

【0037】図1の光ファイバ母材1を線引き炉にセットし、下端を加熱して光ファイバを線引きすると、得られた光ファイバにはこのねじれが残留する。このため、光ファイバの全長において1回以上ねじられていると、凸部13というコア用母材12の構造上の歪みに対応する光ファイバのコアの歪みは、中心軸のまわり360度の全ての方向に出現する。このため、歪みに起因する伝搬光の偏波分散は、2つの偏波モード光の結合が容易になることで全体としてキャンセルされ、等価的に真円および同心円状の光ファイバとして機能する。

【0038】コア用母材12の構造的歪みと、ねじりの中心軸の位置については種々の態様があり、これらを図2、3に示す。図2(a)～(d)はコア用母材12が楕円形状でコア中心がねじれ中心軸（一点鎖線のクロスする位置）となった場合を示し、それぞれ図1の平面A～Dにおける断面図である。図2(e)～(h)も平面A～Dの断面図であり、コア用母材12は歪んだ円形状となり、ねじり中心軸はコア用母材12の中心から僅かにずれている。

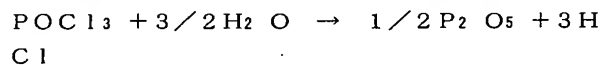
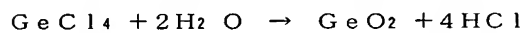
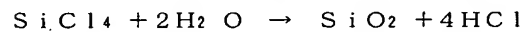
【0039】図3はコア用母材12が実質的に真円形状である場合を示し、同図(a)～(d)はねじれ中心がコア用母材12の端部になっている場合、同図(e)～(h)はねじり中心がコア用母材12から外れてクラッド用母材11中になっている場合である。これらについても、線引きされた光ファイバのクラッドの厚さが異なり同心円状となっていないことに起因し、ねじりが無いと偏波分散が問題となるが、光ファイバ全長において1回以上のねじりがあると、キャンセルされて全体の偏波分散は抑止される。

【0040】また、図3のようにコア用母材12が偏芯しているとき、特に図3(e)～(h)のように比較的大きく偏芯しているときには、これを線引きした光ファイバでは2つの偏波モードの結合が容易になって偏波分散が抑制されるだけでなく、下記のような格別の作用を奏する。すなわち、ねじりの中心が特にコアの外側(ク

ラッド部分)となるようにした母材を線引きするならば、らせん状のコアを有する光ファイバとなり得る。らせん状のコアを有する光ファイバは、らせんのピッチを調節することにより円偏波保存光ファイバとなり得る。また、らせん状のコアを有する光ファイバは、コアの実質的な長さ(光伝送路の長さ)が光ファイバの実際の長さよりも長くなるので、このような光ファイバに希土類元素等をドーブした光ファイバアンプを作製することにより、従来の光ファイバアンプよりも短尺の光ファイバを用いることで同じ性能を有する光ファイバアンプとなり得る。

【0041】次に、本発明に係る光ファイバ母材および光ファイバのそれぞれの製造方法の実施例を説明する。

【0042】図4はVAD(軸付け)法を用いた製造プロセスを説明する図である。同図(a)のように、石英ガラスからなる出発棒21を回転チャック22に固定し、バーナ3A、3Bを用いてスート母材4を作製する。ここで、バーナ3Aにはコア用の高屈折率となる原料を供給し、バーナ3Bにはクラッド用の低屈折率となる原料を供給する。つまり、SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>、POCl<sub>3</sub>等のガラス原料ガスを酸素素炎に導入すると、500～800℃で次の加水分解反応が進む。



火炎中で生成されたガラス微粒子が、出発棒21の先端に吹き付けられ、付着堆積して、多孔質のスート母材4が形成される。スート母材4は、軸方向への成長速度に合わせて引き上げられる。図4(b)の工程では、出発棒21をチャック24で固定し、下端からスート母材4を加熱炉23に通すことにより、ガラス化された透明な光ファイバ母材1を得る。

【0043】次に、図4(c)に示すように、光ファイバ母材1にダミーロッド25を融着接続し、出発棒21(又は改めて融着した別のダミーロッド)を回転チャック26Aに、ダミーロッド25を別の回転チャック26Bに固定し、光ファイバ母材1を一端から他端に向けて順次に加熱炉23に通して軟化させる。このとき、回転チャック26A、Bを互いに逆方向に回転させることにより、軟化された部分から光ファイバ母材1にはねじりが加えられる。また、回転チャック26A、Bを互いに離れる方向に移動させることで、光ファイバ母材1は延伸されて縮径される。

【0044】次に、図4(d)に示すように、光ファイバ母材1からダミーロッド25を取り外し、出発棒21をチャック27に固定して線引き炉にセットし、ヒータ28により下端を加熱して光ファイバ19を線引きする。線引きした光ファイバ19は、コーティング等が施されてドラム29に巻き取られる。この光ファイバ19



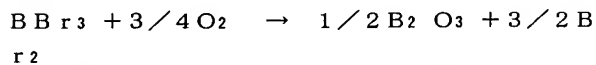
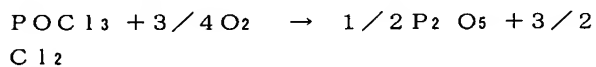
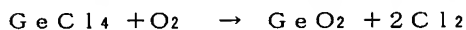
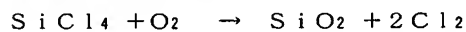
には光ファイバ母材 1 の有していたねじれが残留している。ここで、チャック 27 は固定チャックに限らず、回転チャックとすることができる。チャック 27 を回転チャックとした場合には、光ファイバ母材 1 からダミーロッド 25 を取り外し、出発棒 21 をチャック 27 に固定して線引き炉にセットし、チャック 27 を回転させて、光ファイバ母材 1 を回転させながらヒータ 28 により下端を加熱して光ファイバ 19 を線引きする。

【0045】光ファイバ母材 1 にねじりを加える工程は、従来の製造工程に新たに追加しても良いが、上記実施例のように線引き用のプリフォームに成形する縮径・延伸工程で延伸しながらねじっても良く、このようにすればコストの点でも有利である。

【0046】母材をねじる際には、上記実施例のように母材を支える両端のチャックを互いに逆向きに回転させる方法が良い。そうすることで回転数を抑えることができるので、芯ずれなどが発生した際、遠心力によって母材が曲がったりすることがない。

【0047】また、特に横型のガラス旋盤で上述の方法でねじりを加えた場合、母材が変形する場合がある。つまり、両端のチャックを互いに逆向きに回転させることで、加熱軟化部の回転が遅くなるため、全周にわたって均一に加熱することが出来ず、自重で垂れてしまうからである。従って、横型の場合は両チャックを同じ方向に回転し、その回転数を変える方法が好ましい。また、全周にわたってより均一に加熱する目的で、縦型の場合にも用いることができる。

【0048】図 5 は内付け法を用いた製造プロセスを示す図である。まず、石英管 15 を用意し、回転させて外部から酸水素バーナ 31 で加熱しながら、石英管 15 の内部に原料ガスを供給する。原料ガスとして、例えば、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{GeCl}_4$ 、 $\text{POCl}_3$ 、 $\text{BBr}_3$ 、 $\text{O}_2$  等があり、これらのガラス原料が送り込まれると、次の熱酸化反応を生じる。



この結果、生成された  $\text{SiO}_2$  等のガラス微粒子が石英管 15 の内側に付着し、コア用多孔質層 41 が形成される。

【0049】次に、石英管 15 の両端を回転チャック 26 A、B に固定し（石英管 15 の一端を加熱して封止した後、固定してもよい）、加熱炉 23（バーナでもよい）に通して加熱しながら石英管 15 をねじる。これにより、中実化、透明ガラス化、およびねじりの付加を同時に行うことができ、回転チャック 26 A、B を離れる方向に移動させれば、延伸および縮径も同時になしう

る。

【0050】このようなガラスパイプを中実化する工程を含む製造方法においては、中実化の過程で断面が楕円になりやすく、偏波分散が大きくなる傾向があり、ねじりを加えることで、より一層の偏波分散の改善効果が得られる。更に、中実化の工程でねじりながら透明ガラス化すれば製造コストはほとんど変わらない。もっとも、製造コストを度外視すれば、中実化、透明ガラス化、ねじり、延伸を別々の工程とすることができる。

【0051】次に、図 4（d）と同様に線引き炉にセットして線引きすれば、ねじれが残留した光ファイバが得られる。なお、石英管 15 の内面にガラス微粒子を堆積するステップにおいて、第 1 段階ではクラッド用の原料を導入して多孔質層を形成し、次に第 2 段階ではコア用の原料を導入して別の多孔質を重ねるようにすれば、コアおよびクラッドのいずれも火炎加水分解で合成したガラスとすることができる。

【0052】図 6 は外付け法を用いた製造プロセスを示している。まず、コア用母材 12 となる石英系ガラスロッドを用意して、これを回転させながらバーナ 3 からのガラス微粒子を含む火炎にさらす（図 6（a）参照）。すると、コア用母材 12 の外側にクラッドとなるべき多孔質層 41 が形成される。なお、コア用母材 12 は原コア用母材の外周を略真円形に研削したものを使用することもできる。

【0053】次に、これを回転チャック 26 A、B に固定し、多孔質層 41 のガラス化とねじり付加を同時に行う。なお、プリフォームに対して逆向き回転応力と共に引張り応力を与えながら加熱すれば、ガラス化、ねじり付加および延伸が同時になされる（図 6（b）参照）。最後に、得られた光ファイバ母材を図 4（d）と同時に線引炉にセットし、下端から線引きすれば、ねじれが残留した光ファイバが得られる。

【0054】図 7 はロッドインチューブ法を用いた製造プロセスを示す図である。この場合には、パイプ状のクラッド用母材 11 とロッド状のコア用母材 12 をあらかじめ用意し、クラッド用母材 11 の貫通孔 16 にコア用母材 12 を挿入する（図 7（a）参照）。このとき、貫通孔 16 を偏芯させておけば、偏芯量に応じたらせん半径を有する前述のらせんコア光ファイバが得られる。また、上記の母材 11 は、VAD 法などで作製できる。なお、コア用母材 12 は原コア用母材の外周を略真円形に研削したものを使用することもできる。

【0055】次に、一方の端部でクラッド用母材 11 とコア用母材 12 を融着することで一体としたプリフォームを回転チャック 26 A、B に固定し、逆向きの回転応力を加えながら一方より加熱炉 23 で一体化していく（図 7（b）参照）。引張り応力を更に加えると、一体化、ねじり付加および延伸が単一工程でなし得ることは、前述の実施例と同様である。

13

【0056】最後に、図4(d)と同様にして線引きすれば、ねじれが残留した光ファイバが得られる。この実施例の方法では、貫通孔16の偏芯量でコアのらせん半径を設定し、これによってコアの長さ(実質的な光伝送路長)を光ファイバ自体の実際の長さとは異なるように設定できるので、前述した光ファイバアンブへの応用などに適している。

【0057】次に、本発明者が行った具体的が実施例を説明する。

【0058】(実施例1) 透明母材(外径25mm、長さ400mm)の両端にダミーロッドを融着接続し、鉛直方向に貫通した穴を有する縦型加熱炉に、その下端が加熱炉の上端の高さになるように挿入した。なお、透明母材は加熱炉の上部と下部に設けられた回転可能なチャックにダミーロッドを固定することで支持した。加熱炉の温度を1900℃まで昇温し、上部チャックと下部チャックを1mm/分の速度で下降させながら、互いに逆向きに50rpmの回転数で回転させ、400mmトラバースさせた。その後、透明母材を線引きして光ファイバ化した。得られた光ファイバの偏波分散特性は1.55μmの信号光で1kmのファイバにおいて0.05PSと良好だった。

【0059】(実施例2) また、実施例1と同等の透明母材を1900℃まで昇温された加熱炉に挿入し、上部チャックを3mm/分、下部チャックを5mm/分の速度でそれぞれ下降させながら、上部チャックを回転させることなく、下部チャックを15rpmの回転数で回転させて、透明母材にねじりを加えながら延伸させた。得られた母材には外観異常はなく、外径19.44mmまで良好に延伸された。

【0060】(実施例3) 石英パイプ(外径30mm、内径10mm、長さ300mm)の内面に、コアとなるガラス層を形成した母材を横型のガラス旋盤に取り付け、端部より順次、酸素水素バーナで加熱しつつ、母材の両端を固定する両端のチャックの一方を10rpmで、他方を20rpmで同じ方向に回転させながら5mm/分の速度で両方のチャックをトラバースさせた。さらに、パイプ内の圧力を0.9気圧に減圧して、母材の端部より順次ねじりながら中実化した。中実化された母材は、外観異常、気泡等がなく良好であった。

【0061】(実施例4) コアとなる部分とクラッドの一部となる部分からなる透明母材(外径40mm、長さ100mm)の両端にダミーロッドを融着接続し、横型のガラス旋盤に取り付けた。両端のチャックの一方を40rpmで回転させ、他方を10rpmで一方のチャックと同じ方向に回転させながら40mm/分の速度でトラバースさせ、バーナを5mm/分の速度で他方のチャックのトラバース方向とはとは逆方向にトラバースさせて外径10mmに延伸した。この後、この母材の外周にガラス微粒子を堆積させて焼結透明化して、光ファイバ

14

用母材を形成した。次に、実施例1と同様に、鉛直方向に貫通した穴を有する縦型加熱炉に、光ファイバ用母材の下端が加熱炉の上端の高さになるように挿入した。なお、光ファイバ用母材は加熱炉の上部と下部に設けられた回転可能なチャックにダミーロッドを固定することで支持した。加熱炉の温度を1900℃まで昇温し、上部チャックと下部チャックを10mm/分の速度で下降させながら、互いに逆向きに30rpmの回転数で回転させ、トラバースさせた。その後、光ファイバ用母材を30~500rpmで回転させつつ、100m/分で線引きして光ファイバ化した。得られた光ファイバには20cm~2.4mのピッチでコアにねじりが加えられた。

【0062】

【発明の効果】 以上のように、本発明の光ファイバによれば、中心軸のまわりで一方向かつ一様にねじられており、断面構造上の歪みが一定のねじりのピッチで360度の各方向に現れるので、その光ファイバを伝搬していく光信号において、2つの偏波モードの結合が容易となり、その結果、全体の偏波分散を等価的に抑止し得る。また、本発明の光ファイバ母材は、あらかじめ一定の方向かつ一様にねじられているため、端部より線引きするだけで上記に示したように、全体の偏波分散を等価的に抑止し得る光ファイバとなり得る。

【0063】 また、本発明の光ファイバ母材の製造方法によれば、中心部の透明材あるいは多孔質材と周辺部の透明材あるいは多孔質材との組み合わせにより得られる光ファイバ母材を透明化あるいは縮径・延伸する際に、その両端に中心軸回りで逆向きの回転応力を与えるので、工程終了後の光ファイバ母材には一定の方向かつ一様にねじりが加わっておりそのピッチは一定となり、その線引き後に得られる光ファイバにはねじりが残留し、上記の特性を有するものになり得る。なお、ねじりの中心がコアの外側となる光ファイバ母材を線引きすれば、らせんのピッチを調節することにより円偏波保存光ファイバとなり得る。その結果、上記のような光ファイバを製造するのに適した光ファイバ母材と、これらの好適な製造方法となり得る。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施例に係る光ファイバ母材の一部の斜視構造と、4つの平面A~Dにおける断面構造を示す図である。

【図2】 (a)~(d)はコア用母材が楕円形状でコア中心がねじれ中心軸となった場合を示す図であり、

(e)~(h)はコア用母材が歪んだ円形状でねじれ中心軸がコア用母材の中心から僅かにずれている場合を示しており、(a)~(d)および(e)~(h)のいずれも図1の平面A~Dの断面図に対応している。

【図3】 (a)~(d)はコア用母材が実質的に真円形状でねじれ中心軸がコア用母材の端部近傍にある場合を示す図であり、(e)~(h)はコア用母材が実質的に

15

真円形状でねじれ中心軸がコア用母材から外れてクラッド母材中になっている場合を示す図であり、(a)～(d)および(e)～(h)のいずれも図1の平面A～Dの断面図に対応している。

【図4】VAD（軸付け法）を用いた製造プロセスを説明する図である。

【図5】内付け法を用いた製造プロセスを説明する図である。

【図6】外付け法を用いた製造プロセスを説明する図である。

16

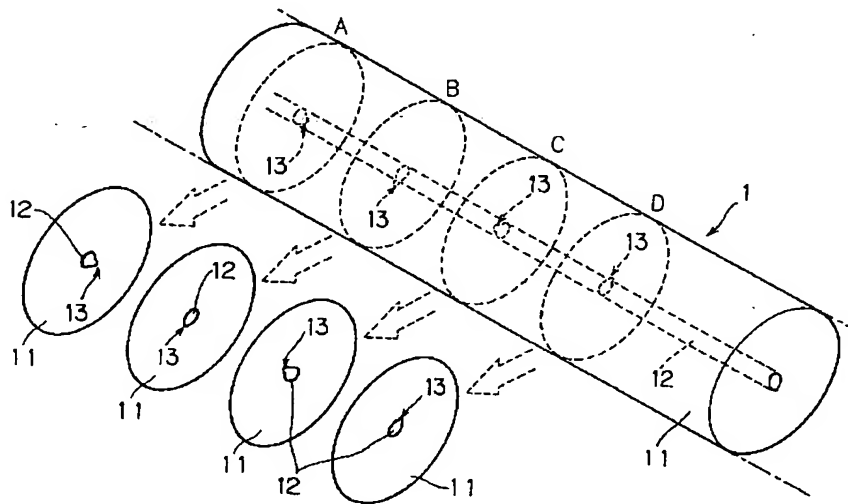
【図7】ロッドインチューブを用いた製造プロセスを説明する図である。

【符号の説明】

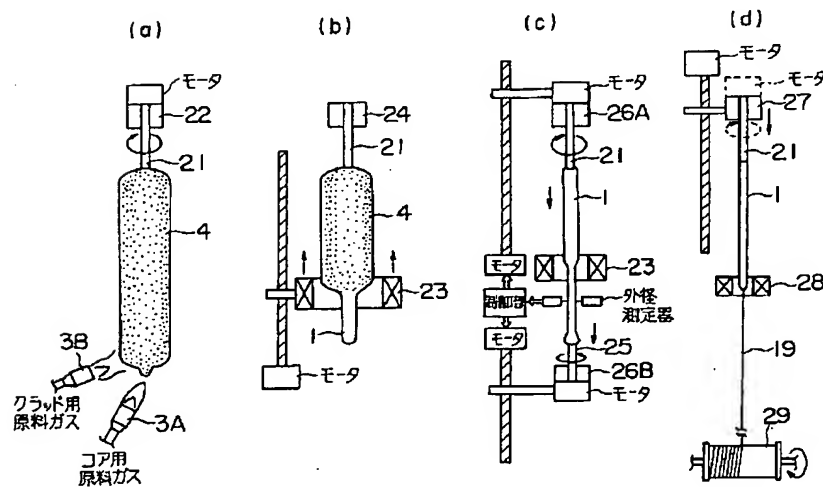
1…光ファイバ母材、3、3A、3B、31…バーナ、4…スート母材、11…クラッド用母材、12…コア用母材、13…凸部、15…石英管、16…貫通孔、19…光ファイバ、21…出発棒、22、24、26A、26B…回転チャック、23、28…加熱炉、25…ダミールード、27…チャック、29…ドラム、41…多孔質層。

10

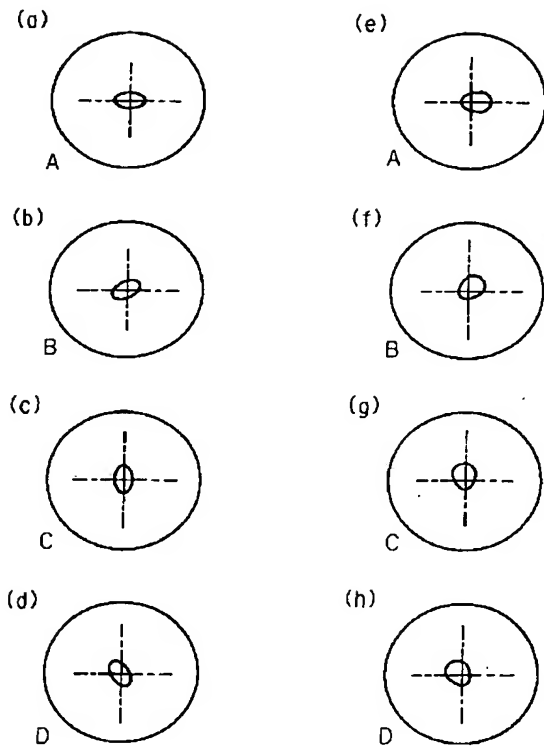
【図1】



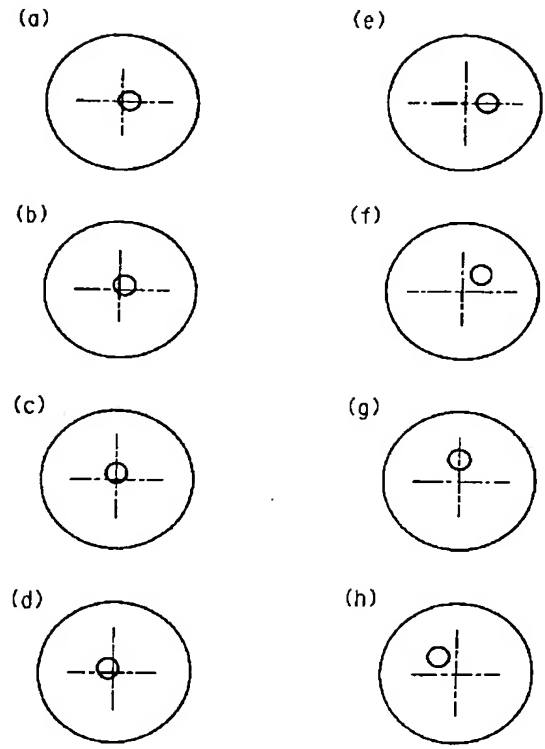
【図4】



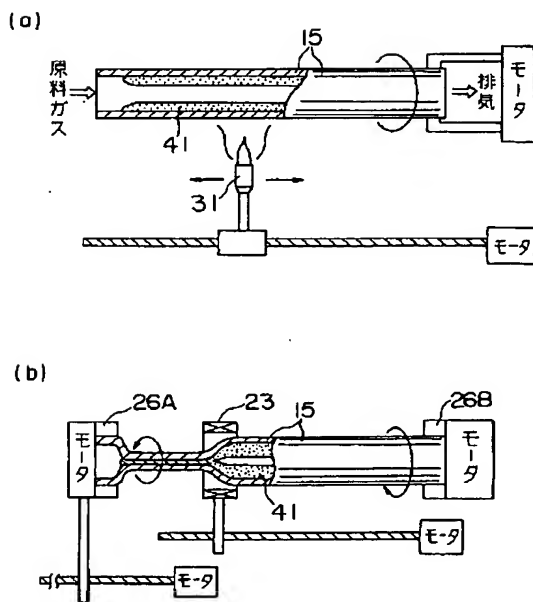
【図 2】



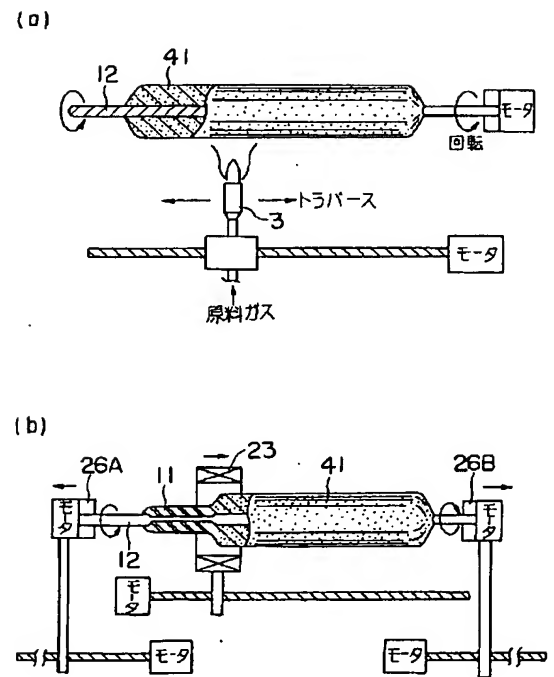
【図 3】



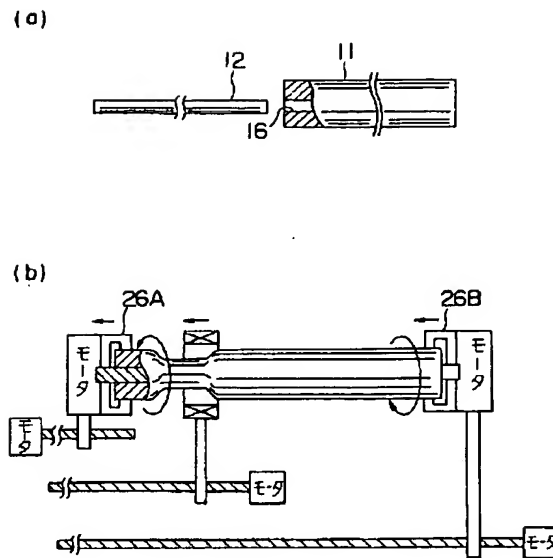
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 2 B 6/17

(72) 発明者 横田 弘

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内